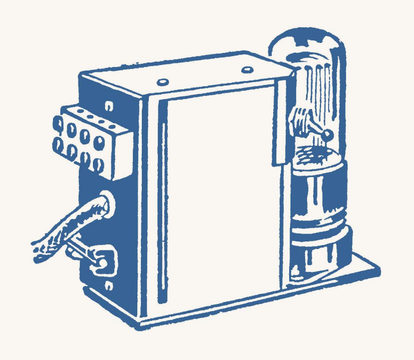
МАССОВАЯ РАДИО-БИБЛИОТЕКА

А. Г. ДОЛЬНИК и М. М. ЭФРУССИ

АВТОМАТИЧЕСКИЙ РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ



Госэнергоиздат

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

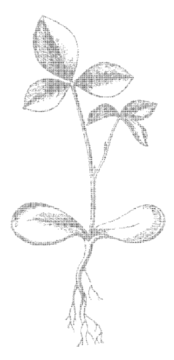
ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

Выпуск 186

А. Г. ДОЛЬНИК и М. М. ЭФРУССИ

АВТОМАТИЧЕСКИЙ РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ

Под редакцией *И. И. Спижевского*







ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1953 ЛЕНИНГРАД

В брошюре дано подробное описание одного из экспонатов 10-й Всесоюзной выставки творчества радиолюбителей-конструкторов — автоматического ступенчатого регулятора напряжения (автоматического переключателя секций обмотки автотрансформатора), предназначенного для поддержания постоянства питающего радиоприемник или телевизор напряжения от электросети переменного тока.

СОДЕРЖАНИЕ

Редактор *Ф. И. Тарасов* Техн. редактор *И. М. Скворцов*

Разрешено к набору 9/VI 1953 г. Подп. к печати 27/VIII 1953 г.
Бумага 83 × 108 1/32. Объем 0,82 п. л. Уч.-изд. л. 1
Т-0?81? Тираж 15 000 Зак. 189
Цена 40 коп.

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

Для поддержания постоянства питающего радиоприемник или телевизор напряжения, поступающего из сети переменного тока, часто пользуются секционированными автотрансформаторами. Регулировка подводимого к приемнику или телевизору напряжения в этом случае осуществляется переключением отводов обмотки автотрансформатора.

Неудобство такого способа регулировки заключается в том, что переключение секций обмотки автотрансформатора производится вручную. При этом приходится все время следить за уровнем напряжения в электросети и своевременно производить соответствующие переключения.

Описываемый здесь регулятор напряжения автоматически выполняет эти переключения и, следовательно, освобождает владельца приемника или телевизора от упомянутых выше неудобств.

СХЕМА И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ РЕГУЛЯТОРА

В данном регуляторе переключение отводов автотрансформатора выполняют автоматически электромагнитные реле.

Непосредственно включать эти реле в цепь регулируемого напряжения нецелесообразно потому, что происходящие в электросети колебания питающего напряжения слишком малы для того, чтобы на них могли реагировать обычные электромагнитные реле. Для обеспечения надежного действия таких реле в их цепь включен газовый стабилизатор, вольтамперная характеристика которого обладает большой крутизной (порядка 7—14 *ма/в*).

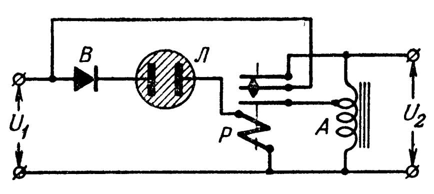
При наличии газового стабилизатора, представляющего собой нелинейное сопротивление (сопротивление, прохождение тока через которое не подчиняется закону Ома), небольшие изменения питающего напряжения (на 10—25%) вызывают значительные изменения тока (на 200—300%), проходящего через газовый стабилизатор и через включенные последовательно с ним обмотки реле. Такие резкие изменения

тока вполне обеспечивают надежное действие электромагнитных реле.

Используя указанный принцип регулировки, можно осуществлять автоматическое переключение секций автотрансформатора с помощью обычных электромагнитных реле при изменениях напряжения электросети в пределах 5—8 *в*.

На фиг. 1 показана простейшая схема ступенчатого регулятора напряжения.

При пониженном напряжении в электросети через стабилизатор *Л* и обмотку реле *Р* или совсем не проходит ток (при погашенном стабилизаторе), или же проходит относительно слабый ток, недостаточный для срабатывания реле *Р*. Провод от электросети в этом случае соединен через контакты реле *Р* с тем отводом автотрансформатора *А*, который соответствует пониженному напряжению электросети. Когда же напряжение в электросети возрастет и увеличится ток через обмотку реле *Р*, последнее сработает и переключит провод от электросети на другой отвод обмотки автотрансформатора.



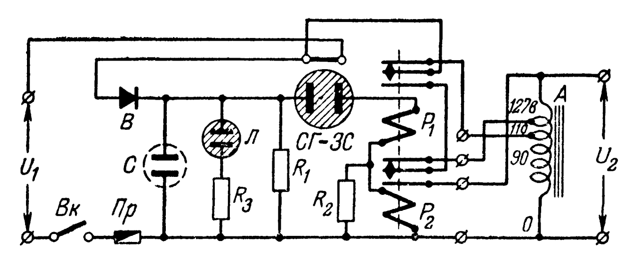
Фиг. 1. Простейшая схема регулятора напряжения.

Постоянство напряжения U_2 на нагрузке автотрансформатора определяется величиной ступени регулировки (величиной напряжения между соседними отводами автотрансформатора). Для обеспечения большего постоянства напряжения на нагрузке необходимо устанавливать меньшее напряжение, приходящееся на одну ступень регулировки. Но при этом приходится увеличивать общее число ступеней регулировки, а следовательно и общее число реле, или же сокращать пределы регулируемых колебаний напряжения электросети.

Весь диапазон, в пределах которого может колебаться напряжение электросети, разбивается на равные участки и для каждого из них применяется отдельное определенное реле. Поскольку при переходе с одного участка регулируемого напряжения электросети на другой изменяется и ток, проходящий через обмотки реле, то для поочередного срабатывания и отпускания последних (по мере возрастания или уменьшения тока) необходимо, чтобы каждое отдельное реле было отрегулировано на соответствующий ток сраба-

тывания. Это легко достигается или применением реле с разной чувствительностью, или же шунтированием обмоток реле соответственно подобранными сопротивлениями, которые уменьшают ток через обмотки реле.

Недостатком работы всяких релейных схем является то, что на границе срабатывания или отпускания реле (при медленном изменении тока) их якори начинают вибрировать и дребезжать, что нарушает надежность контактов реле. Но так как напряжение (ток) в осветительных электросетях обычно изменяется не плавно, а скачками, то в этих условиях реле работают достаточно стабильно и надежно. В редких случаях реле все же может оказаться в неустойчивом состоянии, которое легко устраняется кратковременным (на мгновение) отключением регулятора от электросети.



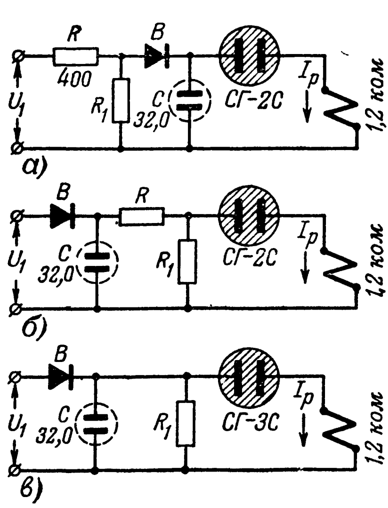
Фиг. 2. Схема ступенчатого регулятора.

В приведенной на фиг. 1 принципиальной схеме регулятора напряжения для простоты применена лишь одна ступень регулировки. Описываемый же здесь автоматический регулятор имеет две ступени регулировки.

Полная принципиальная схема описываемого регулятора напряжения дана на фиг. 2.

В этом регуляторе газовый стабилизатор типа СГ-3С и обмотки реле P_1 и P_2 питаются выпрямленным напряжением, поступающим от селенового выпрямителя *В*. Электролитический конденсатор *С* служит для сглаживания выпрямленного напряжения (при несглаженном напряжении будут дребезжать якори реле). С помощью сопротивления R_1 устанавливается нужный уровень напряжения, подводимого к стабилизатору СГ-3С. Величина этого сопротивления подбирается с таким расчетом, чтобы стабилизатор СГ-3С полностью погасал при питающем напряжении переменного тока около 100 *в*.

Сопротивление R_2 шунтирует обмотку реле P_2. Благодаря этому повышается ток его срабатывания. Необходимо это потому, что реле P_2 должно срабатывать лишь после того, когда сработает реле P_1. Поэтому, если реле P_1 и P_2 обладают одинаковой чувствительностью, то второе из них обязательно приходится шунтировать сопротивлением. Неоновая лампочка *Л*, включенная последовательно с сопротивлением R_3, служит в этой схеме указателем исправности регулятора.



Фиг 3. Варианты схемы регулятора.

В регуляторе можно применять газовый стабилизатор не только типа СГ-3С, но и СГ-2С.

На фиг. 3 приведены два варианта схемы регулятора со стабилизатором СГ-2С и схема со стабилизатором СГ-3С (для сравнения). В первом варианте схемы (фиг. 3,*а*) применен делитель напряжения $R - R_1$ до, а во втором варианте (фиг. 3,*б*) — после выпрямителя *В*. С помощью этого делителя устанавливается напряжение, подаваемое на газовый стабилизатор. Подбирается оно с таким расчетом, чтобы стабилизатор СГ-2С зажигался при напряжении в сети, несколько меньшем 100 *в* (после его зажигания должно срабатывать реле P_1).

Так как в схеме, приведенной на фиг. 3,*в*, применен стабилизатор (СГ-3С) с более высоким напряжением зажигания, то здесь нет надобности в упомянутом выше делителе напряжения. Точная подгонка напряжения зажигания стабилизатора СГ-3С в этой схеме осуществляется подбором величины сопротивления R_1. При конструировании и налаживании описываемого регулятора напряжения, а также при выборе и регулировке реле важно знать зависимость величины тока в цепи газового стабилизатора (тока I_p, проходящего через обмотки реле) от напряжения электросети. Зная эту зависимость и установив нужное число ступеней регулировки напряжения (и, следовательно, число реле), остается лишь отрегулировать все реле на нужные токи

срабатывания, включив их в отдельную схему (см. ниже).

На фиг. 4 показана графически зависимость тока I_p в обмотках реле от напряжения U_1 в электросети для всех трех схем фиг. 3. Сплошные линии показывают, как изменяется ток при увеличении напряжения электросети. Пунктирные линии показывают, что кривые зависимости тока несколько сдвигаются влево в области малых токов при понижении напряжения электросети. Этот сдвиг кривых происходит вследствие того, что напряжение зажигания у газового стабилизатора заметно больше напряжения его погасания. Кроме того, при уменьшении тока, потребляемого стабилизатором, начинает повышаться напряжение на выходе выпрямителя, что и приводит к затягиванию горения газового стабилизатора.

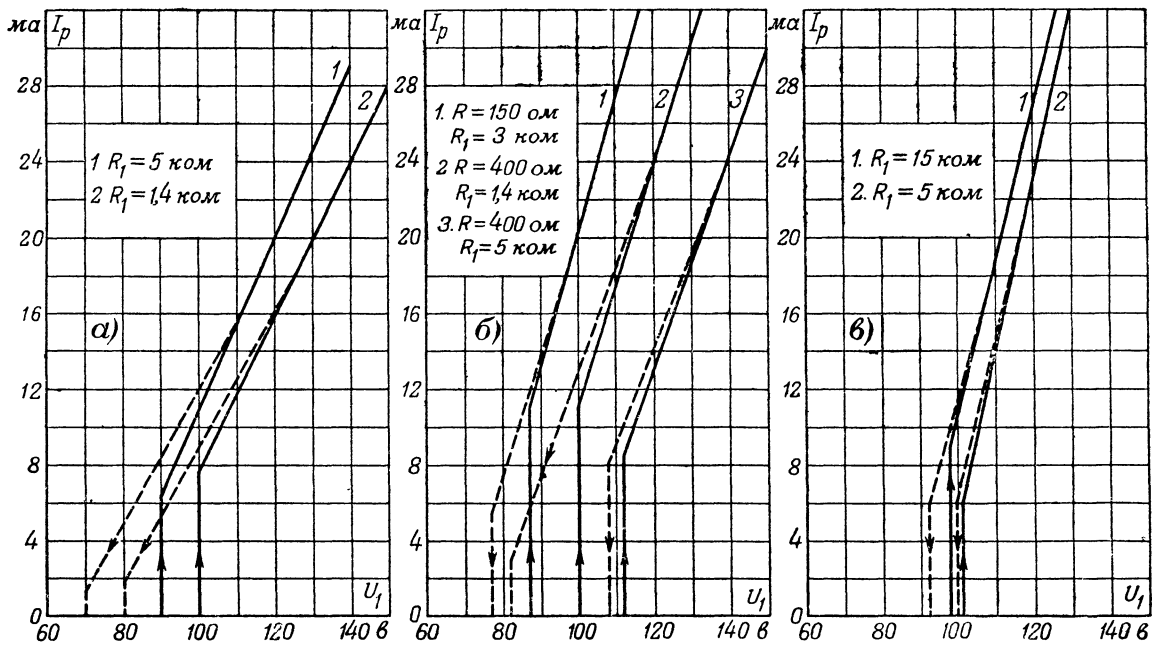
Из графиков, приведенных на фиг. 4, видно также, что изменением величины сопротивления R_1 можно менять рабочий режим (и напряжение зажигания) газового стабилизатора.

Схема, изображенная на фиг. 3,*в*, обеспечивает более резкие изменения тока через обмотки реле в зависимости от колебаний напряжения в электросети, чем схемы фиг. 3,*а* и *б*. Объясняется это тем, что в схеме фиг. 3,*в* применен стабилизатор типа СГ-3С, обладающий большей, чем у СГ-2С, крутизной вольтамперной характеристики. Эта схема является и наиболее экономичной, так как в ней отсутствует делитель напряжения ($R - R_1$), составляющий дополнительную нагрузку выпрямителя.

На фиг. 5 приведены кривые (полученные расчетным путем), показывающие, как изменяются пределы колебаний напряжения U_2 на выходе регулятора в зависимости от числа имеющихся в нем реле. Здесь кривая *1* дана для регулятора с четырьмя реле, кривая *2* — для регулятора с тремя реле и кривая *3* — для регулятора с двумя реле.

Пилообразная форма кривых обусловлена тем, что срабатывание отдельных реле (при напряжениях электросети, соответствующих верхним зубцам кривых) сопровождается переключением отводов автотрансформатора и немедленным снижением (скачком) напряжения. Пределами изменения напряжения на нагрузке являются верхние и нижние острия зубцов этих кривых.

Из графика фиг. 5 видно, что при двух реле (кривая *3*) можно обеспечить постоянство напряжения в пределах 120 ± 9 *в*, изменяя напряжение электросети от 80 до 130 *в*. При трех реле (кривая *2*) пределы колебаний напряжения

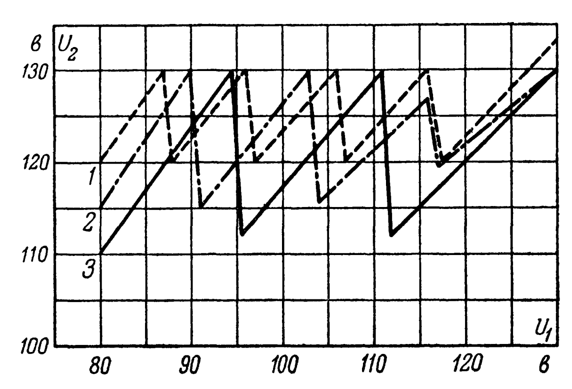


Фиг. 4. Графики зависимости тока I_p (в цепи реле) от напряжения U_1 (электросети) для трех вариантов схемы фиг. 3.

а — для схемы фиг. 3, *а*; *б* — для схемы фиг. 3, *б*; *в* — для схемы фиг. 3, *в*.

на нагрузке уменьшаются до $\pm 7,5$ *в*, а при четырех реле — до ± 6 *в*.

Пользуясь этими кривыми, а также кривыми фиг. 4, можно определить токи срабатывания реле и коэффициент трансформации, который должен обеспечиваться при данном отводе автотрансформатора. Для этого по минимальным значениям (нижним зубцам) кривой фиг. 5, соответствующей принятому числу реле, находят значения напряжений электросети, при которых должны сработать соответ-



Фиг. 5. Расчетные кривые для регуляторов с двумя (кривая *3*), тремя (кривая *2*) и четырьмя (кривая *1*) реле.

ствующие реле. Затем по одному из графиков фиг. 4 (в соответствии с принятой схемой) находят соответствующие этим напряжениям токи срабатывания реле.

Выберем, например, схему фиг. 3,*б* и соответствующую ей кривую на фиг. 4, *б* и определим токи I_p срабатывания реле. Для двухрелейной схемы эти токи будут равны 16,2 и 27,9 *ма*, для трехрелейной схемы — 13, 22 и 31,2 *ма* и для четырехрелейной схемы — 11, 17,2, 24,4 и 31,5 *ма*.

Коэффициент трансформации представляет собой отношение числа витков всей обмотки автотрансформатора к числу витков той ее части, которая заключена между данным отводом и концом обмотки, соединенным с электросетью (нижний конец на схемах фиг. 1 и 2). Он определяется как отношение напряжения U_2 на нагрузке к напряжению U_1 электросети для всех минимальных значений соответствующей кривой фиг. 5 (начальные точки кривых и нижние их зубцы).

Из кривых фиг. 5 следует, что коэффициент трансформации должен быть: 1,37, 1,17 и 1 — при двух, 1,44, 1,26, 1,1 и 1 — при трех и 1,5, 1,36, 1,24, 1,12 и 1,03 — при четырех реле.

КОНСТРУКЦИЯ И ДЕТАЛИ

Для сборки регулятора напряжения, схема которого дана на фиг. 2, необходимы: стабилизатор напряжения типа СГ-3С, селеновый столбик *В* из десяти шайб диаметром 18 *мм* (типа ВС-18), электролитический конденсатор *С* типа КЭ-1 (емкостью 32 *мкф* на рабочее напряжение 150 *в*), два электромагнитных реле P_1 и P_2, сопротивления R_1, R_2 и R_3, выключатель *Вк* (тумблер), предохранитель *Пр* (на удвоенный ток нагрузки) и неоновая лампочка *Л* (индикатор).

Сопротивление R_1 должно быть около 10 *ком* на мощность рассеяния 2 *вт*. Величина сопротивления R_2, шунтирующего реле P_2, выбирается соответственно чувствительности последнего. В случае применения однотипных реле P_1 и P_2 сопротивление R_2 может быть выбрано в пределах 500—1 000 *ом*.

В данной конструкции применены готовые заводские реле типа РКМ. Сопротивление обмотки такого реле постоянному току составляет около 600 *ом* (может быть увеличено до 1 000 *ом*). Каждое реле должно иметь по одному перекидному контакту и должно быть отрегулировано так, чтобы при переключении этот контакт не соприкасался одновременно с обоими неподвижными контактами реле, так как иначе при переключениях будут замыкаться накоротко секции обмотки автотрансформатора.

Некоторые типы реле имеют по два подвижных (перекидных) и по два неподвижных контакта. У таких реле надо оба подвижных контакта соединить между собой. Если будут применяться реле, имеющие двойное число контактов, то каждый дополнительный контакт надо соединить накоротко с соответствующим основным контактом реле. Это снизит износ контактов и повысит надежность работы реле.

Качество работы ступенчатого регулятора зависит главным образом от четкости и надежности действия его реле. Реле P_1 должно срабатывать при токе 7 *ма*, что соответствует напряжению сети переменного тока около 100 *в*, а реле P_2 — только при токе 22 *ма*, что соответствует напряжению сети приблизительно 117 *в*. Если реле P_1 будет срабатывать при токе, значительно меньшем 7 *ма*, то необходимо его обмотку, как и у реле P_2, зашунтировать сопротивлением, величина которого точно подбирается опытным путем.

Во всех случаях важно, чтобы ток размыкания у реле был не очень мал, т. е. чтобы он составлял не меньше 70% тока срабатывания реле.

Выбранные для регулятора реле предварительно надо испытать (а если понадобится и отрегулировать их путем отгибания контактных пружин) и точно проверить их токи срабатывания и отпускания. Для этой цели собирается последовательная цепь из батареи (или выпрямителя) напряжением 20—50 *в*, переменного сопротивления в 10—15 *ком*, миллиамперметра на 25—30 *ма* и испытуемого реле. В этой же схеме подбирается и шунтирующее сопротивление R_2.

Реле следует подбирать не только по чувствительности, т. е. по току срабатывания, но и по способности контактов пропускать и разрывать необходимой величины ток, определяемый нагрузкой автотрансформатора. У разных реле могут быть контакты различной формы. Так, например, у маломощных реле каждая пара пластин состоит из острого и плоского контактов на предельную разрывную мощность до 25—35 *вт*. У реле повышенной мощности применяются контакты с закругленными рабочими поверхностями на предельную разрывную мощность до 150 *вт*. Реле, рассчитанные на разрывную мощность до 1 000 *вт*, снабжаются контактами с плоскими рабочими поверхностями.

Надо учитывать, что чем чувствительнее реле, тем меньшую мощность способны разрывать его контакты. Поэтому в регуляторах, предназначенных для более мощных потребителей тока, кроме основных (чувствительных) реле применяют еще дополнительные реле, снабженные контактами, рассчитанными на сравнительно большую разрывную мощность. При помощи последних и осуществляется переключение отводов обмотки автотрансформатора. Основные же реле служат лишь для включения и выключения тока из обмоток дополнительных реле.

Считаем полезным привести здесь принципиальную схему такого регулятора с двумя группами реле (фиг. 6). В ней P_1 и P_2 являются основными, а P_3 и P_4 — дополнительными реле с более мощными контактами. С помощью сопротивлений R_3 и R_4 устанавливаются необходимые токи срабатывания дополнительных реле. Питать обмотки дополнительных реле можно от выпрямителя B, если он способен обеспечить необходимый для этого ток.

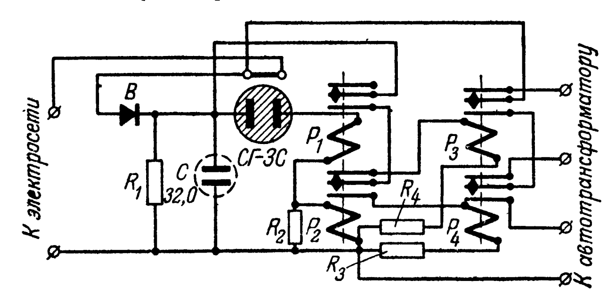
Описываемый регулятор, как это видно из фиг. 7, собирается в небольшом металлическом футляре. Детали регу-

лятора можно размещать различно, важно соблюдать лишь общие правила монтажа.

Селеновый столбик рекомендуется устанавливать горизонтально, так как при этом обеспечивается равномерное охлаждение его шайб.

Электролитический конденсатор в данной конструкции можно расположить вблизи селенового столбика, поскольку последний будет нагреваться незначительно.

Газовый стабилизатор лучше установить снаружи на верхней крышке футляра с тем, чтобы удобно было наблюдать за ним во время работы регулятора. Постоянный над-



Фиг. 6. Схема ступенчатого регулятора с дополнительным реле.

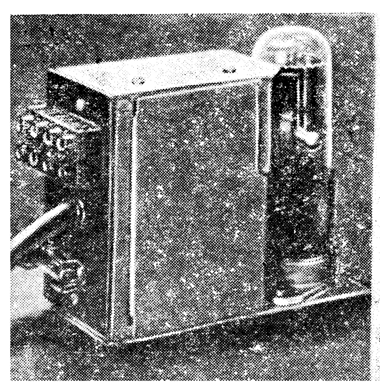
зор за ним необходим потому, что если стабилизатор выйдет из строя, то реле выключатся и одновременно с этим переключат автотрансформатор на минимальное напряжение электросети. В таком положении автотрансформатор будет оставаться в течение всего времени независимо от действительного напряжения в электросети, пока не будет установлен в регуляторе новый стабилизатор. Если при этом резко повысится напряжение электросети, то в питаемом устройстве может сгореть обмотка трансформатора, перегореть нити ламп, пробиться конденсаторы и т. п. Поэтому при выходе из строя стабилизатора его надо немедленно вынуть из регулятора. Одновременно с этим прекратится подача к автотрансформатору тока, цепь которого замыкается перемычкой, имеющейся в газовом стабилизаторе (фиг. 2).

Для удобства наблюдения за действием регулятора нужно смонтировать на видном месте и сигнальную лампочку *Л*. Свечение этой лампочки служит признаком исправности действия селенового выпрямителя и электролитического конденсатора.

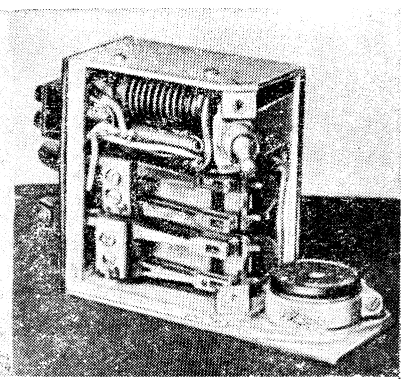
Реле следует укрепить горизонтально контактами кверху, так как это удобно при осмотре, чистке и регулировке (подгибании) контактов.

Внутренний вид переключающей части ступенчатого регулятора (без автотрансформатора) показан на фиг. 8.

Регулирующие свойства прибора иллюстрируются кривыми фиг. 9, которые показывают пределы изменения переменного напряжения на нагрузке автотрансформатора с отводами для 90, 110 и 127 *в*, в зависимости от изменений напряжения U_1 электросети, как в сторону повышения



Фиг. 7. Общий вид собранного регулятора.



Фиг. 8. Расположение деталей в футляре регулятора.

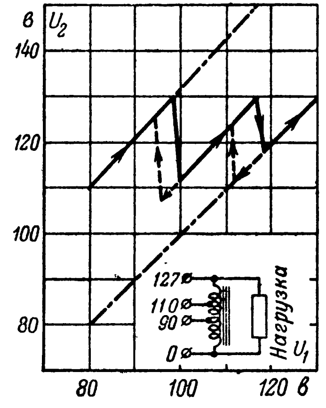
(сплошные линии), так и понижения (штриховые линии) напряжения. Из этих кривых видно, что при изменении напряжения электросети в пределах от 80 до 130 *в* напряжение на потребителе (нагрузке) остается на уровне 110—130 *в* (сплошная кривая), т. е. отклонения от номинала не превышают $\pm$ 10 *в*.

Продолжения сплошных линий (штрих с точкой) на графике фиг. 9 показывают, как изменялось бы напряжение на нагрузке без регулятора при наличии повышающего автотрансформатора (продолжение линии вверху) и без него (продолжение линии внизу).

Как уже упоминалось, пределы колебания напряжения на нагрузке могут быть сокращены применением большего числа реле в регуляторе.

Необходимо заметить, что регулировка напряжения при помощи описанного устройства является весьма экономич-

ной. Максимальная мощность, потребляемая регулятором при напряжении сети 130 *в*, составляет около 5 *вт*; она падает до 1 *вт* при напряжении 100 *в*. Таким образом, принимая в среднем мощность потребителя (радиоприемника) около 100 *вт*, получаем, что к. п. д. данного регулятора напряжения достигает порядка 95%.



Фиг. 9. График, характеризующий действие регулятора при изменениях напряжения электросети.

Такой же регулятор может быть изготовлен и при использовании электросети 220 *в*. В этом случае надо собирать регулятор по схеме фиг. 3,*а*, применяя в нем газовый стабилизатор СГ-3С. При этом сопротивление *R* надо увеличить до 2—3 *ком* при величине сопротивления R_1 в 2—5 *ком* (число шайб в селеновом столбике равно 10 шт.). Подбором величины сопротивления *R* производится регулировка напряжения зажигания газового стабилизатора.

Можно также для этого регулятора использовать и газовый стабилизатор типа СГ-4С. В этом случае придется уменьшить сопротивление *R* до 300 *ом* и увеличить общее число шайб в селеновом столбике до 15 шт.

В данной конструкции применяется отдельный автотрансформатор, так как имеется в виду использование регулятора для готового радиоприемника или другого аппарата без какой-либо переделки последних. Этот же регулятор, конечно, можно применить и без отдельного автотрансформатора, используя силовой трансформатор приемника, если первичная обмотка такого трансформатора имеет соответствующие отводы.

РАСЧЕТ АВТОТРАНСФОРМАТОРА

На фиг. 10,*а* показано включение автотрансформатора в электросеть для повышения, а на фиг. 10,*б* — для понижения напряжения. Там же указано, как в обоих случаях проходят токи в обмотке автотрансформатора.

Приводим упрощенный электрический расчет автотрансформатора, считая, что он будет собран на сердечнике из готовых типовых пластин.

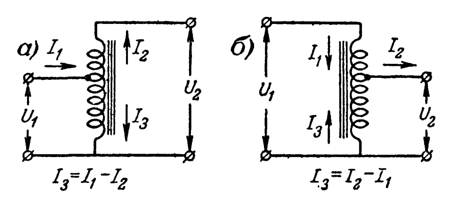
Расчетная мощность P_A автотрансформатора всегда меньше мощности, потребляемой нагрузкой от электросети. Для повышающего автотрансформатора (фиг. 10,*а*)

$$P_A = 1{,}1\, I_2 (U_2 - U_1);$$

а для понижающего (фиг. 10,*б*)

$$P_A = 1{,}1\, U_2 (I_2 - I_1),$$

где U_1 и U_2 — напряжения на входе и выходе автотрансформатора, а I_1 и I_2 — соответствующие им токи.



Фиг. 10. Схемы автотрансформаторов.
а — повышающего; *б* — понижающего.

Сечение сердечника автотрансформатора можно приблизительно подсчитать по следующей формуле:

$$Q_c = \sqrt{P_A}.$$

Число витков обмотки трансформатора

$$w = \frac{45\, U}{Q_c},$$

где U — напряжение соответствующей обмотки.

Диаметр провода обмотки автотрансформатора

$$d = 0{,}7 \sqrt{I},$$

где I — ток данной обмотки.

Пример расчета. Допустим, что надо рассчитать автотрансформатор для схемы фиг. 2. Пусть потребляемая нагрузкой мощность P составляет 100 *вт*, а напряжение U_2 на нагрузке равно 127 *в* при напряжениях U_1 электросети, равных 90, 110 или 127 *в*.

Находим сначала ток нагрузки

$$I_2 = \frac{P}{U_2} = \frac{100}{127} \approx 0{,}79\ a$$

и наибольшую расчетную мощность автотрансформатора (при $U_1 = 90$ *в*)

$$P_A = 1{,}1\, I_2 (U_2 - U_1) = 1{,}1 \cdot 0{,}79\, (127 - 90) \approx 32\ вт.$$

Затем определяем сечение сердечника автотрансформатора

$$Q_c = \sqrt{P_A} = \sqrt{32} \approx 5{,}7\ см^2$$

и количество витков в секциях обмотки автотрансформатора

$$w_1 = \frac{45 \cdot 90}{Q_c} = \frac{45 \cdot 90}{5{,}7} \approx 710 \text{ витков (для секции 0—90 } в),$$

$$w_2 = \frac{45 \cdot 20}{Q_c} = \frac{45 \cdot 20}{5{,}7} \approx 158 \text{ витков (для секции 90—110 } в)$$

и

$$w_3 = \frac{45 \cdot 17}{Q_c} = \frac{45 \cdot 17}{5{,}7} \approx 134 \text{ витка (для секции 110—127 } в).$$

Количество витков всей обмотки автотрансформатора

$$w = 710 + 158 + 134 = 1\,002 \text{ витка.}$$

Находим далее наибольший ток, потребляемый от электросети (при напряжении $U_1 = 90\ в$):

$$I_1 = \frac{1{,}1\,P}{U_1} = \frac{1{,}1 \cdot 100}{90} \approx 1{,}22\ а$$

и наибольший ток, проходящий через секцию обмотки w_1

$$I_3 = I_1 - I_2 = 1{,}22 - 0{,}79 = 0{,}43\ а.$$

Таким образом, наибольший ток I_3, проходящий через секцию w_1 обмотки, составляет 0,43 *а*, а наибольший ток I_2, проходящий через секции w_2 и w_3 обмотки, равен 0,79 *а*.

После этого определяем диаметр провода (по меди) для секции w_1

$$d_1 = 0{,}7\sqrt{I_3} = 0{,}7\sqrt{0{,}43} \approx 0{,}46\ мм$$

и для секций w_2 и w_3:

$$d_2 = d_3 = 0{,}7\sqrt{I_2} = 0{,}7\sqrt{0{,}79} \approx 0{,}62\ мм.$$

Цена 40 к.